

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-156565  
(43)Date of publication of application : 03.06.2004

(51)Int.Cl.	F01K 23/10
	F01D 15/10
	F01K 23/06
	F02B 37/04
	F02B 41/10
	F02C 3/10
	F02C 6/18
	F02C 7/36
	F22B 1/18

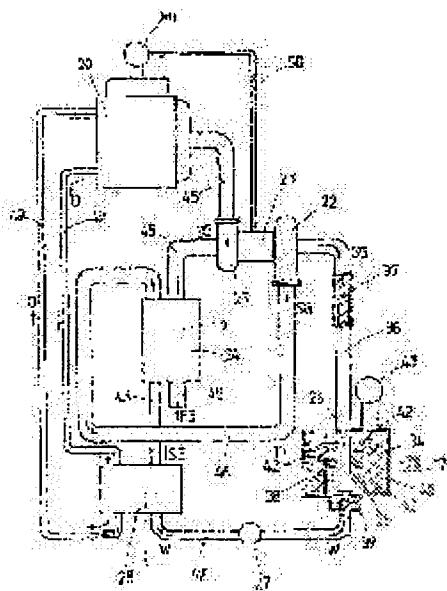
(21)Application number : 2002-325052 (71)Applicant : FUJI SERATEKKU KK  
SHIP & OCEAN FOUNDATION  
(22)Date of filing : 08.11.2002 (72)Inventor : KAWAMURA HIDEO

**(54) TURBINE POWER GENERATION SYSTEM WITH BUILT-IN HEAT EXCHANGER HAVING METAL POROUS MEMBER**

(57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a turbine power generation system having a condenser composed of a heat exchanger for reducing pressure at the output side of a steam turbine, increasing efficiency of the steam turbine.

**SOLUTION:** The turbine power generation system comprises an exhaust turbine 21 driven by exhaust gas EG exhausted from a heat source 20, a first heat exchanger 24 having porous metal member for generating high temperature steam by heat energy of the exhaust gas EG, a steam turbine 22 driven by the high temperature steam SG generated by the first heat exchanger 24, a power generator 23 driven by the exhaust turbine 21 and the steam turbine 22, and a condenser 25 having a porous metal member 34 on a steam tube 26 for cooling the steam generated by the steam turbine 22 to be water drops.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 02.08.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-156565

(P2004-156565A)

(43) 公開日 平成16年6月3日(2004.6.3)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>

**F01K 23/10**  
**F01D 15/10**  
**F01K 23/06**  
**F02B 37/04**  
**F02B 41/10**

F I

F01K 23/10  
F01K 23/10  
F01D 15/10  
F01K 23/06  
F01K 23/06

T  
P  
A  
A  
P

テーマコード(参考)

3G005  
3G081

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 15 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願2002-325052(P2002-325052)

(22) 出願日

平成14年11月8日(2002.11.8)

(71) 出願人 599014518

フジセラテック株式会社

神奈川県厚木市中町4-14-3 雅光園  
ビル8F

(71) 出願人 591118041

財団法人シップ・アンド・オーシャン財団  
東京都港区虎ノ門1丁目15番16号

(74) 代理人 100092347

弁理士 尾仲 一宗

(72) 発明者 河村 英男

神奈川県高座郡寒川町岡田8-13-5

F ターム(参考) 3G005 DA07 EA16 EA20 FA00 HA15  
3G081 BA11 BA18 BB00 BC01 BC07  
DA21

(54) 【発明の名称】 金属多孔質部材を有する熱交換器を組み込んだタービン発電システム

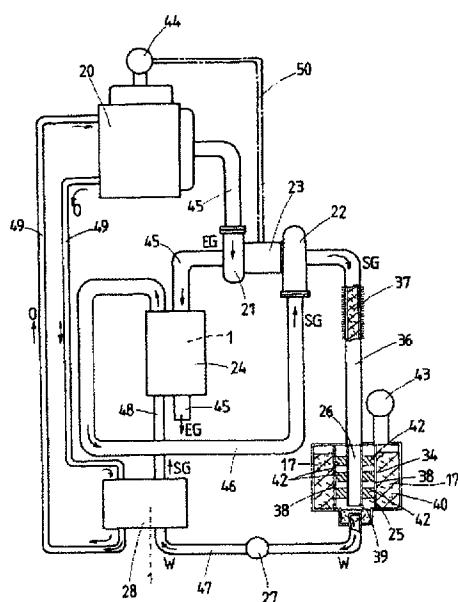
## (57) 【要約】

【課題】 このタービン発電システムは、蒸気タービンの出口側の圧力を熱交換器で構成されたコンデンサで低減して蒸気タービンの効率をアップさせる。

【解決手段】 このタービン発電システムは、主として、熱源20から排出される排気ガスEGによって駆動される排気タービン21、排気ガスEGの熱エネルギーによって高温水蒸気を発生させる多孔質金属部材を設けた第1熱交換器24、第1熱交換器24で発生した高温水蒸気SGで駆動される蒸気タービン22、排気タービン21と蒸気タービン22とによって駆動される発電機23、及び蒸気タービン22からの水蒸気を冷却して水滴化するため蒸気管26に多孔質金属部材34を設けたコンデンサ25を有している。

【選択図】

図1



## 【特許請求の範囲】

### 【請求項 1】

エンジン、燃焼器等の熱源から排出される排気ガスによって駆動される排気タービン、前記排気タービンから排出される排気ガスの熱エネルギーによって高温水蒸気を発生させる金属多孔質部材を設けた第1熱交換器、前記第1熱交換器で発生した高温水蒸気で駆動される蒸気タービン、前記排気タービンと前記蒸気タービンとを両端に設けた軸に設置された発電機、前記蒸気タービンから吐き出される水蒸気を冷却して水滴化するため蒸気管に金属多孔質部材を設けたコンデンサ、前記コンデンサで発生した水を前記第1熱交換器へ送り込むための水ポンプ、及び前記水ポンプと前記第1熱交換器との間に組み込まれ且つ前記水ポンプで送り込まれた前記水を熱源循環用オイルで加熱して水蒸気に変換する第2熱交換器、を有することから成るタービン発電システム。10

### 【請求項 2】

前記第1熱交換器は、前記排気ガスが通過する前記金属多孔質部材が配設された外筒、及び前記外筒内に配置され且つ前記水蒸気が通過する前記金属多孔質部材が配設された内筒を有し、前記外筒内に配設された前記金属多孔質部材と前記内筒の外壁とが接合され且つ前記内筒の内壁と前記金属多孔質部材とが溶融金属により接合されていることから成る請求項1に記載のタービン発電システム。

### 【請求項 3】

前記第1熱交換器における前記外筒と前記内筒に配設された前記金属多孔質部材と前記隔壁とは、金属粉末とろう材とを練り合わせた板状ペーストを前記金属多孔質部材に埋め込んだ接合層で溶着することによって前記金属多孔質部材と前記隔壁とは互いに溶着接合されていることから成る請求項2に記載のタービン発電システム。20

### 【請求項 4】

前記外筒の外周側には断熱材が配設され、前記外筒に配設された前記金属多孔質部材の多孔質材の粗度が前記内筒に配設された前記金属多孔質部材の多孔質材の粗度より大きく形成されていることから成る請求項2又は3に記載のタービン発電システム。

### 【請求項 5】

前記内筒は、前記水蒸気の出口側の流速をアップするため、入口側の通路断面積より出口側の通路断面積が小さく形成されていることから成る請求項2～4のいずれか1項に記載のタービン発電システム。30

### 【請求項 6】

前記蒸気タービンと前記コンデンサとを連通する導管には、前記蒸気タービンから排出された前記水蒸気を冷却するため金属多孔質部材又はフィンが配設されていることから成る請求項1～5のいずれか1項に記載のタービン発電システム。

### 【請求項 7】

前記コンデンサは、隔壁で区画され且つ金属多孔質部材が配設された内側の水タンクと外側の放熱空気又は水通路、及び前記蒸気タービンから吐出された前記水蒸気が送り込まれ且つ前記水タンクに挿入された蒸気管から構成されていることから成る請求項1～6のいずれか1項に記載のタービン発電システム。

### 【請求項 8】

前記コンデンサの前記水タンクに配設された前記金属多孔質部材は、前記蒸気管が嵌入し、放熱空気又は水との隔壁に接合された多段の多孔質平板部材から成り、前記蒸気管からの前記水蒸気は、前記水タンクの水中に吹き出されて前記多孔質平板部材を通過しながら熱交換されることから成る請求項1～7のいずれか1項に記載のタービン発電システム。40

### 【請求項 9】

前記コンデンサは、前記蒸気タービンから吐き出される水蒸気を冷却するため、前記隔壁に接合された金属多孔質部材を前記放熱空気又は水通路に設けており、プロワからの空気を通過させる空冷機構又は冷却水を通過させる水冷機構に構成されていることから成る請求項8に記載のタービン発電システム。

### 【請求項 10】

10

20

30

40

50

前記コンデンサの前記水タンクに配設された前記金属多孔質部材は、銀、銅、アルミニウム等の耐腐食性金属がメッキされたニッケル製多孔質材から成り、前記コンデンサの前記放熱空気又は水通路に配設された前記金属多孔質部材は、多孔質金属にアルミニウム等の金属がメッキされたニッケルを主成分とした多孔質金属材から構成されていることから成る請求項1～9のいずれか1項に記載のタービン発電システム。

【請求項11】

前記蒸気タービンと前記排気タービンは回転軸の両端に設けられ、前記回転軸の中間には前記発電機の永久磁石部材から成る回転子が取り付けられていることから成る請求項1～10のいずれか1項に記載のタービン発電システム。

10

【請求項12】

前記発電機で発電された電力は、前記熱源へ空気を供給するためのコンプレッサ用モータ及び／又は前記エンジンのクランク軸に取り付けられたモータにインバータを介して供給して消費されることから成る請求項1～11のいずれか1項に記載のタービン発電システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、エンジン、燃焼器等の熱源から排出される排気ガスが持つ熱エネルギーを動力に変換するため金属多孔質部材を流体通路に配設した熱交換器を組み込んだタービン発電システムに関する。

20

【0002】

【従来の技術】

従来、エンジン、燃焼器等の熱源から排出される排気ガスが持つ熱エネルギー等を動力に変換するためには、排気タービンを用いて熱回収する方法が一般的である。特に、エンジンの排気管に連結して用いられるターボコンパウンド方式では、蒸気タービンを用いる方法が一般的に使われる。エンジンに排気タービンを連結する場合には、排気タービンの入口圧力を余り上昇させると、エンジンの排気行程に負荷がかかり過ぎ、かえって動力損失を招くことになる。従って、排気タービンには、余り大きな入口圧力を与えず、動力変換させるためには、蒸気力を用いることが効果的である。

30

【0003】

また、ガス通路にセラミック製多孔質部材を配置した熱交換装置は、エンジンからの排気ガスで蒸気を加熱する排気通路に設けられた第1段熱交換器と第2段熱交換器から成る。第1段熱交換器は、第1ケーシング内に配置された蒸気が流れる蒸気通路と、蒸気通路に配置された排気ガスが流れる排気ガス通路とから構成されている。第2段熱交換器は、第1ケーシングの下方に設けられた第2ケーシング内に配置された水を貯留できる水・蒸気通路と、水・蒸気通路の周りに配置された排気ガスが流れる排気ガス通路とから構成されている。各通路には、多孔質セラミック部材が配置されている（例えば、特許文献1参照）。

40

【0004】

また、ランキンサイクルとして、水を水蒸気に変換する蒸気発生装置、該蒸気発生装置で発生した水蒸気で駆動される蒸気タービン、該蒸気タービンから排出される水蒸気を水に復水させるコンデンサ、及び該コンデンサから排出される水を蒸気発生装置へ送還するポンプから成るものが知られている。該ランキンサイクルにおけるコンデンサは、蒸気タービンから排出された水蒸気が流入する流体通路を形成し且つ永久磁石から成る回転子を設けた内筒、該内筒内の流体通路に配置された第1多孔部材、上記内筒の外側に取り付けられたスパイラル状に延びるフィン部から成る第2多孔部材、及び該第2多孔部材のフィン部と該フィン部に隣接した領域で形成される空気通路を形成するように上記内筒を回転自在に支持し且つ回転子に対応したステータを備えた外筒から構成されている（例えば、特許文献2参照）。

【0005】

50

また、エンジンからの排気ガスを排出する排気通路に設けられたターボチャージャの後流に熱交換器を持つエネルギー回収装置を設けたものが知られている。該エネルギー回収装置は、熱交換装置で発生した高温の蒸気によって蒸気タービンを駆動し、蒸気タービンに設けた発電機によって発電するのに適用されている。エネルギー回収装置を備えたガスエンジンは、天然ガス等のガス体を燃料とし、例えば、コーチェネレーションシステムに適用できるものであり、熱交換器を組み込んだ熱交換装置を備えており、CH<sub>4</sub>を主成分とする天然ガス燃料を収容した燃料タンク、ガス燃料を燃焼室の副室へ供給する燃料加圧ポンプ、ターボチャージャの後流の排気通路に設けられた第1熱交換器、第1熱交換器で発生した蒸気によって駆動される蒸気タービン、及び第1熱交換器の後流に設けられ且つ蒸気タービンから排出される流体（低温蒸気と水）を蒸気に変換して該蒸気を第1熱交換器に供給する第2熱交換器を有し、蒸気タービンで駆動される発電機は、タービンの回転力を電力として取り出して排気ガスエネルギーを電気エネルギーとして回収するものである（例えば、特許文献3参照）。 10

#### 【0006】

##### 【特許文献1】

特開平11-6601号公報（第1頁、図1）

##### 【特許文献2】

特開平11-51582号公報（第1、2頁、図1）

##### 【特許文献3】

特開平11-6602号公報（第5、6頁、図4） 20

#### 【0007】

##### 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記のように、熱交換器にセラミックス製多孔質部材を用いると、セラミックスは衝撃荷重に弱く、多孔質部材として製作すると破損し易い欠点がある。また、上記のようなランキンサイクルに設けたコンデンサでは、放熱するフィン部の熱交換面積が大きく、簡単にエンジンに取り付けられない欠点がある。更に、上記のようなエネルギー回収装置では、排気タービンと蒸気タービンとが独立した別機器として取り付けられているので、構造が複雑になり製造コストが高くなり、実用性に乏しいものである。ところで、エンジン、燃焼器等の熱源から排出される排気ガスが持つ熱エネルギー等を動力に変換するため、蒸気タービンを用いる場合には、蒸気力は、蒸気圧力を大幅に上昇させるより、蒸気タービンの出口側に熱交換器を接続し、該熱交換器によって蒸気温度を下げ、水滴化させ、圧力を0.05kg/cm<sup>2</sup>以下に低減させることが、蒸気タービンの効率向上に寄与する。従って、蒸気タービンの出口側に効率の良い熱交換器即ちコンデンサを接続し、蒸気を水に変換するシステム化が必要である。また、上記のように、熱交換器にセラミックス製多孔質部材を用いると、セラミックスは衝撃荷重に弱く、多孔質部材として製作すると破損し易い欠点がある。 30

#### 【0008】

また、エンジンから排出される排気ガスが有する熱エネルギーを回収するシステムは、高効率の熱交換器を用いることが有効である。即ち、遮熱形ターボコンパウンドエンジンとして、燃料を天然ガスとし、燃焼室を遮熱構造とした場合に、該エンジンにおいて、燃料エネルギーを最大限に動力に変換して利用するには、排気ガスの熱エネルギーを最大限に活用し、動力に変換しなければならない。熱交換器として、ガスとガスとの間での熱交換では、その熱交換効率が重要であり、熱交換効率が良いほど熱の利用率がよく、全体の熱効率も良くなる。熱交換器の性能では、作動流体の熱伝達率と熱伝導率とが影響し、スムーズに熱を移動させるためには、その抵抗が小さい方が良い。 40

#### 【0009】

近年、耐熱金属を発泡体とし、金属多孔質部材を形成する研究が進み、その用途として、フィルタ等が良いとして、多くの研究が進んでいる。金属多孔質部材は、三次元的に金属が絡まって交差しているので、同一体積あたりの外表面積はフィンに比較し、6倍程度大きいものである。そこで、金属多孔質部材を2つの作動流体を分離する隔壁の金属平板に 50

接合し、隔壁によって受熱領域と放熱領域とに区画し、受熱領域に一方のガス等の作動流体を通過させれば、作動流体は多孔質材料の隙間をその面に衝突接触しながら通過し、流体が持つ熱を金属多孔質部材の固体に伝達する。固体に伝達された熱は隔壁の金属平板に伝導され、他方の作動流体に熱を移動させることになる。

### 【0010】

そこで、熱交換器において、流体通路に金属多孔質部材を配設し、金属多孔質部材を熱交換面に持つことにより、高効率の熱交換器が構成される。エンジンの排気ガスの熱エネルギーを再利用するため、排気ガスの熱エネルギーを蒸気に変換したり、使用済みの蒸気を水に戻したりするためには、効率の良い熱交換器が必要である。熱交換器の伝熱について、理論的に考察すると、高温ガスから固体への熱移動は、ガス体の熱伝達率が大きい程、多量の熱が伝熱される。ガス体の熱伝達率は、流速と動粘度の関数であるレイノルズ数、ガス物性値特性を示すプラントル数、熱伝導率、レイノルズ数の関数であるヌセルト数によって決まる。

これを数式で示すと、次の通りである。

$$\alpha g 1 = Nu \cdot \lambda / X$$

$$Nu = K \cdot Re^m \cdot Pr^n$$

$$Re = U \cdot X / \nu$$

但し、 $\alpha g 1$ ：熱伝達率、 $Nu$ ：ヌセルト数、 $\lambda$ ：熱伝導率、 $K$ ：定数、 $Re$ ：レイノルズ数、 $Pr$ ：プラントル数、 $U$ ：代表速度、 $\nu$ ：動粘度、 $X$ ：代表長さ。

ここで、熱伝達率を数式で考えると、最も大きな影響を与える要素は、レイノルズ数であり、レイノルズ数は、速度の関数であると言って差し支えない。固体表面に流れる流体では、固体の表面の流れがゼロであり、固体の表面から遠くなるに従って流体の流速が大きくなるので、固体表面の近傍の流量特性を関数として、レイノルズ数が決まる。

### 【0011】

また、気体から固体への熱伝達を増加させるには、次の条件が考えられる。

1. 気体と固体との間で、固体の気体への接触面積を増加させること。
2. 気体流れの中に固体が広く分散し、網目状に分布していること。
3. 集熱部分から伝熱される熱伝導部分は、熱伝導率の大きな材料で構成され、多くの熱を熱交換器の流体間の隔壁に伝熱されること。
4. 集熱材と隔壁は固体として確実に接合され、熱を効果的に伝熱すること。
5. 伝熱された熱は、固体の熱放散体を通って効果的に熱放散すること。

上記1～上記5の条件を満たす構造を概念図で示すと、図1に示すような原理図になる。

### 【0012】

熱伝達・伝導体では、気体の速度を大きくして、レイノルズ数を大きくし、伝熱量を増大させるよりは、気体の速度を余り上げずに、固体の伝達面積を大きくした方が熱を大きく移動させることができる。

図3及び図4を参照して、熱交換器における受熱と放熱とを伝達計算で求めると、次のとおりである。

図4に示すように、フィン3を備えた円形の管4で形成される通路を備えた熱交換器における熱伝達量Qは、次の式のように熱通過率K（単位： $W/m^2 \cdot K$ ）に関係している。

$$Q = K \cdot A_r \cdot \Delta T$$

但し、 $Q$ ：熱伝達量、 $K$ ：熱通過率、 $A_r$ ：基準面積、 $\Delta T$ ：温度差。

### 【0013】

また、図4に示すように、フィン3を備えた管4の内外に形成された受熱側と放熱側との通路が形成されている熱交換器における熱通過率Kは、次の一般式1で示される。

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_i} + \frac{2\lambda}{di} \cdot \ln \frac{di}{do} \cdot \frac{h_o (A_f \phi_f + A_b)}{A_r}$$

但し,  $h_i$  : 内径側熱伝達率 ( $W/m^2 \cdot K$ ),  $h_o$  : 外径側熱伝達率 ( $W/m^2 \cdot K$ ),  $\lambda$  : 管の熱伝導率 ( $W/m \cdot K$ ),  $d_i$  : 管の内径 (m),  $d_o$  : 管の外径 (m),  $A_f$  : 管の内側のフィン部面積 ( $m^2$ ),  $\phi_f$  : フィン効率,  $A_b$  : フィン間の外周面積 ( $m^2$ ),  $A_r$  : 基準面積 (フィンの1ピッチ間の外周面積,  $m^2$ ),  $\ln$  : natural logarithm。

また, 上記式1において,  $\ln(d_o/d_i)$  の項は, 管4の  $d_o$  と  $d_i$  とが大きく異なる場合に,  $[d_i/2] \ln(d_o/d_i)$  で修正している。また, フィン付き管4では,  $d_i/d_o (A_f \phi_f + A_b) / A_r$  で修正している。その理由は, 伝熱面積が基準に対して大幅に変化するからである。

また, 管4の  $d_o$  と  $d_i$  とが余り変わらない場合には, 熱通過率Kは, 次の一般式2で示される。

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{h_o (A_f \phi_f + A_b) / A_r}$$

#### 【0014】

上記のことから, 熱交換効率の基本的な原理を図3を参照して説明すると, 次のとおりである。図3では, 熱交換器を構成する受熱領域7と放熱領域8とが隔壁2で区画され, 受熱領域7には高温ガスGAが流れ, 放熱領域8には低温ガスGBが流れるように構成されている。受熱領域7と放熱領域8には, 隔壁2に接合層9によって一体構造に接合された1本の足部5に複数の枝部6が一体構造に構成されており, これらの足部5と枝部6が複雑に多数集まって金属多孔質部材1が構成されるものである。通常, 熱通過率Kは, 伝熱側, 受熱側の熱伝達率の係数で決まるが, 作動流体を分離する隔壁2の外面にフィン3(図4), 金属多孔質部材1等を付けた熱交換器では, 面積効果を考慮して計算すると, 実験値と一致する。従って, 熱交換器において, 受熱側, 放熱側の面積を増加するように, 図3に示す基本原理の構造を用いると, 1本の足部5に対して, 四方に拡散されている枝部6が受熱面積となり, 熱通過率は3~5倍に増加させることができる。従って, 熱交換器において, 熱通過率をアップさせるため, 流体が接触する面積を如何に大きくし, 特に, 流体を区画した隔壁との接合に如何に一体構造に構成するかの課題があり, また, このような熱交換器をタービン発電システムに如何に組み込むかによって, 蒸気タービンを持つランキンサイクルを高効率に構成できるかの課題がある。

#### 【0015】

##### 【課題を解決するための手段】

この発明の目的は, 上記の課題を解決するため, 排気ガスが有する熱エネルギーを高効率に回収して電力や動力として有效地に利用するため, 排気管に熱交換器を組み込んだランキンサイクルを利用し, 該熱交換器として排気ガス等の流路に配置した金属多孔質部材を流体流れを区画する隔壁に一体構造に接続させ, 金属多孔質部材と隔壁とを物理的に連続して接合し, 排気ガスから受熱領域で受熱した熱エネルギーを放熱領域に伝達させて放熱させ, 熱通過率を3~5倍に増加させて熱交換効率をアップすることを特徴とする金属多孔質部材を有する熱交換器を組み込んだタービン発電システムを提供することである。

#### 【0016】

この発明は, エンジン, 燃焼器等の熱源から排出される排気ガスによって駆動される排気タービン, 前記排気タービンから排出される排気ガスの熱エネルギーによって高温水蒸気を発生させる金属多孔質部材を設けた第1熱交換器, 前記第1熱交換器で発生した高温水蒸気で駆動される蒸気タービン, 前記排気タービンと前記蒸気タービンとを両端に設けた軸に設置された発電機, 前記蒸気タービンから吐き出される水蒸気を冷却して水滴化するため蒸気管に金属多孔質部材を設けたコンデンサ, 前記コンデンサで発生した水を前記第1熱交換器へ送り込むための水ポンプ, 及び前記水ポンプと前記第1熱交換器との間に組み込まれ且つ前記水ポンプで送り込まれた前記水を熱源循環用オイルで加熱して水蒸気に変

換する第2熱交換器、を有することから成るタービン発電システムに関する。

#### 【0017】

前記第1熱交換器は、前記排気ガスが通過する前記金属多孔質部材が配設された外筒、及び前記外筒内に配置され且つ前記水蒸気が通過する前記金属多孔質部材が配設された内筒を有し、前記外筒内に配設された前記金属多孔質部材と前記内筒の外壁とが接合され且つ前記内筒の内壁と前記金属多孔質部材とが溶融金属により接合されている。

#### 【0018】

前記第1熱交換器における前記外筒と前記内筒に配設された前記金属多孔質部材と前記隔壁とは、金属粉末とろう材とを練り合わせた板状ペーストを前記金属多孔質部材に埋め込んだ接合層で溶着することによって前記金属多孔質部材と前記隔壁とは互いに溶着接合されている。

10

#### 【0019】

前記外筒の外周側には断熱材が配設され、前記外筒に配設された前記金属多孔質部材の多孔質材の粗度が前記内筒に配設された前記金属多孔質部材の多孔質材の粗度より大きく形成されている。また、前記内筒は、前記水蒸気の出口側の流速をアップするため、入口側の通路断面積より出口側の通路断面積が小さく形成されている。

20

#### 【0020】

前記蒸気タービンと前記コンデンサとを連通する導管には、前記蒸気タービンから排出された前記水蒸気を冷却するため金属多孔質部材又はフィンが配設されている。また、前記コンデンサは、隔壁で区画され且つ金属多孔質部材が配設された内側の水タンクと外側の放熱空気又は水通路、及び前記蒸気タービンから吐出された前記水蒸気が送り込まれ且つ前記水タンクに挿入された蒸気管から構成されている。

20

#### 【0021】

前記コンデンサの前記水タンクに配設された前記金属多孔質部材は、前記蒸気管が嵌入し、放熱空気又は水との隔壁に接合された多段の多孔質平板部材から成り、前記蒸気管からの前記水蒸気は、前記水タンクの水中に吹き出されて前記多孔質平板部材を通過しながら熱交換される。

30

#### 【0022】

前記コンデンサは、前記蒸気タービンから吐き出される水蒸気を冷却するため、前記隔壁に接合された金属多孔質部材を前記放熱空気又は水通路に設けており、プロワからの空気を通過させる空冷機構又は冷却水を通過させる水冷機構に構成されている。

30

#### 【0023】

前記コンデンサの前記水タンクに配設された前記金属多孔質部材は、銀、銅、アルミニウム等の耐腐食性金属がメッキされたニッケル製多孔質材から成り、前記コンデンサの前記放熱空気又は水通路に配設された前記金属多孔質部材は、多孔質金属にアルミニウム等の金属がメッキされたニッケルを主成分とした多孔質金属材から構成されている。

40

#### 【0024】

前記蒸気タービンと前記排気タービンは回転軸の両端に設けられ、前記回転軸の中間には前記発電機の永久磁石部材から成る回転子が取り付けられている。

#### 【0025】

前記発電機で発電された電力は、前記熱源へ空気を供給するためのコンプレッサ用モータ及び／又は前記エンジンのクランク軸に取り付けられたモータにインバータを介して供給して消費される。

40

#### 【0026】

このタービン発電システムは、上記のように構成したので、即ち、金属多孔質部材を有する熱交換器と蒸気タービンとをランキンサイクルに組み込み、熱交換器として排気ガス等の流体通路を区画する隔壁に金属多孔質部材を接合層を通じて一体構造に接合し、また、排気管下流の熱交換器によって蒸気タービンへ流入する蒸気速度と蒸気温度を上げ、特に、蒸気タービンの出口側の蒸気温度を熱交換器即ちコンデンサで下げて蒸気を水滴化して圧力を低減させたので、蒸気タービンを高効率に駆動することができ、例えば、発電機を

駆動して電気エネルギーとして回収でき、排気ガスが有する熱エネルギーを動力、電力に高効率に変換し、熱効率を向上させることができる。

### 【0027】

#### 【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して、この発明による金属多孔質部材を有する熱交換器を組み込んだタービン発電システムの実施例を説明する。図1及び図2を参照して、この発明によるタービン発電システムを説明する。

### 【0028】

このタービン発電システムは、図1に示すように、エンジンや燃焼器の熱源20から排出される排気ガスの熱エネルギーを電力や動力に変換するため、高効率の蒸気タービンを提供するものであり、特に、タービンの入口圧力を余り上昇させないでエンジン20の排気行程に負荷がかかり過ぎて動力損失を受けないように構成するため、排気タービン21に余り大きな入口圧力を与えず、排気ガスの熱エネルギーを第1熱交換器24を用いて蒸気力に変換し、更に、蒸気圧力を上昇させるが、蒸気タービン22を高効率に駆動するため、蒸気タービン22の出口側に熱交換器即ちコンデンサ(復水器)25を設け、コンデンサ25の機能によって蒸気温度を下げて水滴化させ、例えば、0.05 kg/cm<sup>2</sup>以下の圧力に低減させ、蒸気タービン22の効率を向上させたものである。

10

### 【0029】

このタービン発電システムは、図1に示すように、熱源20から排気管45を通じて排出される排気ガスEGによって駆動される排気タービン21、排気タービン21から排出される排気ガスEGの熱エネルギーによって高温水蒸気を発生させる金属多孔質部材1を設けた第1熱交換器24、第1熱交換器24で発生した高温水蒸気SGを蒸気通路46を通じて送り込んで駆動される蒸気タービン22、及び排気タービン21と蒸気タービン22とを両端に設けた軸に設置され且つ排気タービン21と蒸気タービン22とによって駆動される発電機23を有する。このタービン発電システムは、更に、蒸気タービン22から蒸気通路の導管36を通じて吐き出される水蒸気SGを冷却して水滴化するため蒸気管26に金属多孔質部材34を設けたコンデンサ25、コンデンサ25で発生した水Wを第1熱交換器24へ送り込むための水ポンプ27、及び水ポンプ27と第1熱交換器24との間に組み込まれ且つ水ポンプ27で送り込まれた水Wを熱源循環用オイルOで加熱して水蒸気に変換する第2熱交換器28を有している。ここでは、ランキンサイクルは、主として、第1熱交換器24、蒸気タービン22、水ポンプ27、及び第2熱交換器28で構成されている。

20

### 【0030】

第1熱交換器24は、図2に示すように、排気ガスEGが通過する金属多孔質部材31が配設された外筒29、外筒29内に配置され且つ水蒸気SGが通過する金属多孔質部材32が配設された内筒30、及び外筒29と内筒30とを遮蔽し且つ金属多孔質部材31、32の多数の足部が接合された隔壁33を有するものである。ここで、隔壁33は、内筒30の筒体によって構成されている。第1熱交換器24における外筒29と内筒30に配設された金属多孔質部材31、32と隔壁33とは、金属粉末とろう材とを練り合わせた板状ペーストを金属多孔質部材31、32に埋め込んだ接合層を焼結することによって、金属多孔質部材31、32と隔壁33とは一体構造に互いに接合されている。

30

### 【0031】

また、第1熱交換器24における外筒29の外周側には、断熱材41が配設され、断熱材41は、排気ガスEGが持つ熱エネルギーが外部に放熱するのを防止している。また、外筒29に配設された金属多孔質部材31の多孔質材の粗度は、内筒30に配設された金属多孔質部材32の多孔質材の粗度より大きく形成され、排気ガスEGのスムーズな流れを確保し、エンジン20に排圧損失が負荷されないように構成されている。また、内筒30は、水蒸気SGの出口側の流速をアップさせ、レイノルズ数を大きくし、熱伝達率を大きくするため、入口15側の通路断面積より出口16側の通路断面積が小さく形成されるようにテーパ通路壁35が中央に挿通されている。この場合に、水蒸気SGは、内筒30を通

40

50

過することによって蒸気速度がアップするが、内筒30の出口16から蒸気通路46へ流れ出た時に、蒸気が膨張して蒸気速度が低下しないように、蒸気通路46の通路断面積を出口16側の通路断面積に等しくなるように設計することが好ましい。図2では、水蒸気SGがテーパ通路壁35の外側に沿って流れる形状に形成されているが、テーパの形状を上下逆にして水蒸気SGがテーパ通路壁(図示せず)の内部を流れ、蒸気通路46に連通するように構成することもできる。また、水蒸気SGは、湿り蒸気であるので、図2に示すように、第1熱交換器24の入口側の蒸気通路48にノズル52を設け、ノズル52の噴口53から水滴部を噴出させて該水滴部を微細化させ、第1熱交換器24での熱交換効率を向上させることができる。

10

#### 【0032】

また、このタービン発電システムでは、蒸気タービン22とコンデンサ25とを連通する導管36には、蒸気タービン22から排出された水蒸気SGを冷却するため金属多孔質部材37が配設されている。

#### 【0033】

コンデンサ25は、隔壁38で区画され且つ金属多孔質部材34、17が配設された内側の水タンク39と外側の放熱空気又は水通路40、及び蒸気タービン22から吐出された水蒸気SGが送り込まれ且つ水タンク39に挿入された蒸気管26から構成されている。更に、コンデンサ25の水タンク39に配設された金属多孔質部材34は、蒸気管26が嵌入する多段の多孔質平板部材42から構成されており、隔壁38と接合されている。蒸気管26からの水蒸気SGは、水タンク39の水中に吹き出されて多孔質平板部材42を通過しながら熱交換され、水滴化されるように構成されている。隔壁38の外側には、金属多孔質部材17を取り付け、放熱空気又は水通路40の放熱面積を増加させた構造に構成されている。

20

#### 【0034】

また、コンデンサ25は、蒸気タービン22から吐き出される水蒸気SGを冷却するため、放熱空気又は水通路40に対してプロワ43からの空気を通過させる空冷機構、又は冷却水を通過させる水冷機構(図示せず)に構成されている。コンデンサ25の水タンク39に配設された金属多孔質部材34は、銀、銅、アルミニウム等の耐腐食性金属がメッキされたニッケル製多孔質材から構成されている。また、コンデンサ25の放熱空気又は水通路40に配設された金属多孔質部材17は、多孔質金属にアルミニウム等の金属がメッキされたニッケルを主成分とした多孔質金属材から構成されている。

30

#### 【0035】

このタービン発電システムでは、蒸気タービン22と排気タービン21は回転軸(図示せず)の両端に設けられ、回転軸の中間には発電機23の永久磁石部材から成る回転子(図示せず)が取り付けられている。また、発電機23で発電された電力の一部は、熱源20へ空気を供給するため、導線50を通じてコンプレッサ用モータ44に供給され、モータ44及びエンジン駆動軸即ちクランク軸に設けたモータ(図示せず)を駆動するのに消費されるように構成されている。即ち、排気ガスEGで駆動される排気タービン21と、第1熱交換器24で排気ガスEGとの熱交換によって発生した水蒸気SGによって駆動される蒸気タービン22とは、回転軸のシャフトの両端に設けられ、シャフトは排気ガスエネルギーと蒸気エネルギーで回転駆動され、その回転力は発電機23によって電力として回収される。

40

#### 【0036】

また、このタービン発電システムにおいて、第2熱交換器28は、エンジン20を循環して加熱されたオイルを冷却する機能を有すると共に、ランキンサイクルにおける水Wを水蒸気SGに変換する機能を兼ね備えている。即ち、エンジン循環用のエンジンオイルや潤滑油のオイルOは、エンジン20から第2熱交換器28にオイル通路49を通って送り込まれ、冷却されたオイルOがオイル通路49を通って再びエンジン20に送り込まれる。また、水ポンプ27からの水Wは、第2熱交換器28に冷却水として水通路47を通って供給され、冷却水は加熱されて低温の水蒸気となって蒸気通路48を通って第1熱交換器

50

24へ送りこまれ、高温の排気ガスEGによって高温の水蒸気SGとなって蒸気通路46を通って蒸気タービン22へ送り込まれる。

#### 【0037】

次に、図5～図8を参照して、このタービン発電システムに組み込んだ熱交換器の基本的な構成について説明する。熱交換器は、図5に示すように、温度の互いに異なる流体、即ち、高温の流体GAが受熱領域7を流れ、低温の流体GBが放熱領域8を流れ、受熱領域7から放熱領域8へ熱移動させるものであり、例えば、第1熱交換器24では、流体GAは燃焼器やエンジンの熱源20から放出された高温の排気ガスEGであり、また、流体GBは水蒸気SGである低温の流体である。また、コンデンサ25では、流体GAは蒸気タービン22から放出された水蒸気SGであり、また、流体GAは空気である。更に、第2熱交換器28では、流体GAは熱源20を循環したオイルであり、また、流体GBは水Wを水蒸気SGに変換する流体である。

10

#### 【0038】

熱交換器は、図5に示されるように、受熱領域7と放熱領域8とが金属製隔壁2によって互いに遮蔽され、受熱領域7と放熱領域8とが金属多孔質部材11、12（総称は符号1）が配設されている。金属多孔質部材1は、金属多孔質部材1の多数の足部5を通じて接合層9、10を介して熱伝導率の良好な金属製の隔壁2に接合されている。足部5には、図7に示すように、多数の枝部6が一体構造に分岐している。また、足部5の断面積は、それぞれ異なっており、受熱領域7側と放熱領域8側とで変更させることもできる。

20

#### 【0039】

熱交換器は、特に、金属多孔質部材1の表層には、金属粉末とろう材とを練り合わせた板状ペーストを埋め込んで形成された接合層9、10が形成され、金属多孔質部材1に設けられた接合層9、10が隔壁2上に密接して配設され、金属多孔質部材1と隔壁2とが接合層9、10が焼結されることによって互いに接合されていることを特徴としている。ここで、板状ペーストを構成する金属粉末は、銀、ニッケル、銅、亜鉛等の高熱伝導率を有し、耐腐食性、耐熱性に富んだ金属材料である。

30

#### 【0040】

金属多孔質部材1は、ニッケル、銅、アルミニウム等の金属から成る。また、隔壁2は、ニッケル、銅等の高熱伝導率の金属から成る。更に、接合層9、10に含有された金属粉末は、銀、ニッケル、銅、亜鉛等の耐熱性で高熱伝導率の金属から成る。また、接合層9、10は、隔壁2を挟んで一方の金属多孔質部材11に埋め込まれた高温耐熱性の第1接合層9と、他方の金属多孔質部材12に埋め込まれ且つ第1接合層9より100℃程低い温度の耐熱性の第2接合層10とから構成され、そのため、第1接合層9は、第2接合層10より焼結温度が高くなるように材料が選択されている。隔壁2への金属多孔質部材11、12との接合は、まず、金属多孔質部材11に押し込んだ第1接合層9を隔壁2に密接して配置し、第1接合層9を高い温度で焼結することによって金属多孔質部材11と隔壁2とを焼結された第1接合層9で接合し、次いで、金属多孔質部材12に押し込んだ第2接合層10を隔壁2に密接して配置し、第2接合層10を低い温度で焼結することによって、焼結された第1接合層9を破壊することなく、金属多孔質部材12と隔壁2とを焼結された第2接合層10で接合することができる。場合によっては、隔壁2の両側に金属多孔質部材1を密接して配置し、同一の焼結温度によって同時に接合することもできる。その際には、第1接合層9と第2接合層10とは、同程度の温度の耐熱性の材料、或いは同一材料で作製することも可能である。

40

#### 【0041】

金属多孔質部材11の表面には、熱伝導率の大きい銅、銀等の金属がメッキ又はデッピング、蒸着等のコーティングによって施されている。また、金属多孔質部材12の表面には、例えば、天然ガスを熱分解するため、アルミナ、ジルコニア等のセラミックスがコーティングされ、また、セラミックスの表面にはプラチナ、パナジウム、ニッケル、ロジウム、ルテニウム、酸化アルミニウム等の触媒が付着されて触媒層13が設けられている。また、金属多孔質部材11、12の表面にアルミニウムコーティングを行って、アルミニウ

50

ム層を形成した場合には、アルミニウム層を熱処理し、結晶相としてのコランダムである $\alpha$ アルミナを析出させる。それによって、金属多孔質部材11, 12は、強度をアップし、耐酸化性を向上させると共に、表面に多数の凹凸や気孔を形成して表面積を増大させ、熱交換効率をアップする。

#### 【0042】

更に、金属多孔質部材11, 12の表層には、図7に示すように、熱伝導率の大きい銅、銀、アルミニウム等のメッキ層51が施され、メッキ層51の厚さが接合層9, 10において徐々に変化している。更に、金属多孔質部材11, 12へのメッキ層51の厚さは、金属多孔質部材11, 12をメッキ槽に浸漬する所要時間を使って徐々に変化させることで変化させることができる。

10

#### 【0043】

図7には、放熱領域8における金属多孔質部材12の1単位、即ち、隔壁2に接合された1本の足部5と足部5から分岐する多数の枝部6が示されている。金属多孔質部材12の接合層10では、金属多孔質部材12の足部5は、その断面直径D以上の長さLに埋設した状態で隔壁2に接合されている。また、受熱領域7においても、図7に示すものと同様に、金属多孔質部材11の接合層9では、金属多孔質部材11の足部5は、その断面直径D以上の長さLにわたって埋設した状態で接合されている。金属多孔質部材11, 12は、隔壁2に多数の足部5が接合層9, 10によって接合され、図8に示すように、多数の枝部6が絡み合って接合された構造に形成されており、多数の枝部6間の隙間がオープンポア14に形成され、オープンポア14を流体GA, GBがスムーズに流れる多孔体に構成されている。金属多孔質部材11, 12では、上記の構造を持つことによって、受熱領域7では、受熱面積を大幅に拡大し、また、放熱領域8では、放熱面積を大幅に拡大した状態になっている。

20

#### 【0044】

##### 【発明の効果】

この発明によるタービン発電システムは、上記のように構成されているので、蒸気タービンから排出される水蒸気がコンデンサで水滴化され、蒸気タービンの出口側の圧力が大幅に低下するので、熱交換器で変換された高温水蒸気が蒸気タービンにスムーズに入り込み、蒸気タービンを高効率に駆動することができる。また、熱交換器では、流体流れを区画する隔壁に金属多孔質部材が接合層によって一体構造として互いに接合されているので、隔壁と金属多孔質部材との接合面で熱遮断面が発生することなく、両者間の熱伝導率が向上し、流体間の熱交換効率が大幅にアップさせることができ、金属多孔質部材が受熱領域と放熱領域とにそれぞれ配設されているので、流体が金属多孔質部材に接触する面積が大幅に増大し、熱交換効率を大幅にアップさせることができる。

30

##### 【図面の簡単な説明】

【図1】この発明によるタービン発電システムの基本的原理を説明するためのブロック図である。

【図2】図1のタービン発電システムに組み込まれた第1熱交換器の概略を説明するための断面図である。

【図3】この発明によるタービン発電システムに組み込んだ熱交換器の構造の基本的原理を説明するための概念図である。

40

【図4】円形の管についての熱通過率を説明するための概念図である。

【図5】図1のタービン発電システムに組み込んだ熱交換器を説明するための熱移動モデルを示す概略説明図である。

【図6】図1のタービン発電システムに組み込んだ熱交換器を説明するための熱移動モデルのメッキ層の厚さの変化状態を示す概略説明図である。

【図7】タービン発電システムに組み込んだ熱交換器を説明するための放熱側モデルを示す概略説明図である。

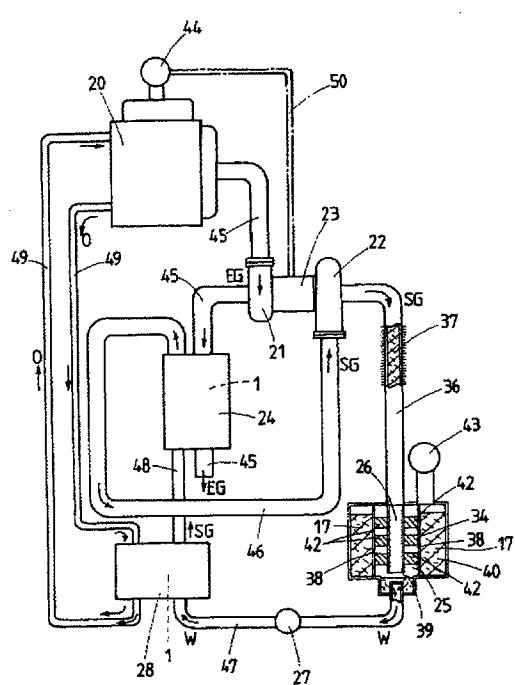
【図8】熱交換器を説明するための受熱側熱流モデルを示す概略説明図である。

##### 【符号の説明】

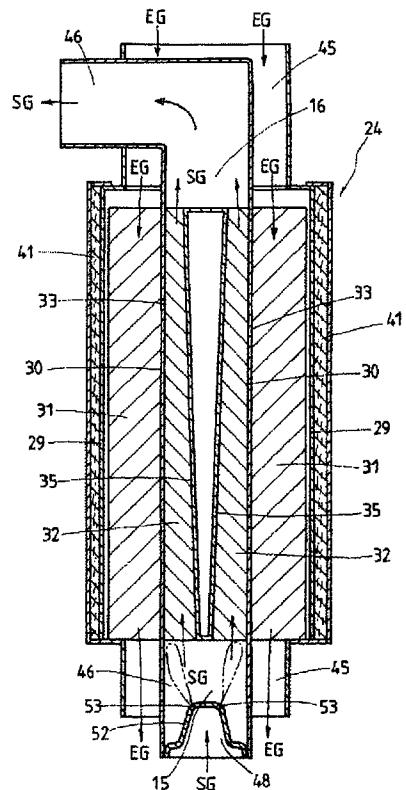
50

1, 11, 12, 17, 31, 32, 34, 37	金属多孔質部材
2, 33, 38	隔壁
3	フイン
4	管
5	足部
6	枝部
7	受熱領域
8	放熱領域
9	第1接合層
10	第2接合層
13	触媒層
14	オープンポア
15	入口 (第1熱交換器の蒸気)
16	出口 (第1熱交換器の蒸気)
20	熱源 (エンジン, 燃焼器)
21	排気タービン
22	蒸気タービン
23	発電機
24	第1熱交換器
25	コンデンサ
26	蒸気管
27	水ポンプ
28	第2熱交換器
29	外筒
30	内筒
35	テーパ通路壁
36	導管
39	水タンク
40	放熱空気又は水通路
41	断熱材
42	多孔質平板部材
43	プロワ
44	コンプレッサ用モータ
45	排気管
46, 48	蒸気通路
47	水通路
49	オイル通路
50	導線
51	メッキ層
52	ノズル
E G	排気ガス
G A, G B	流体
W	水
S G	水蒸気

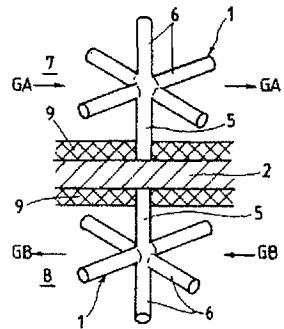
【図1】



【図2】

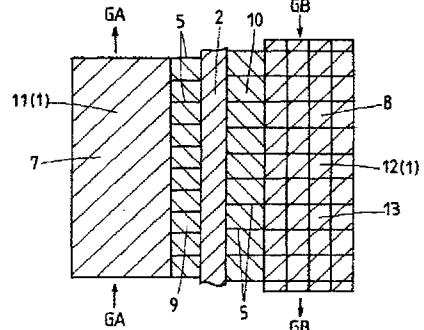


### 【図3】

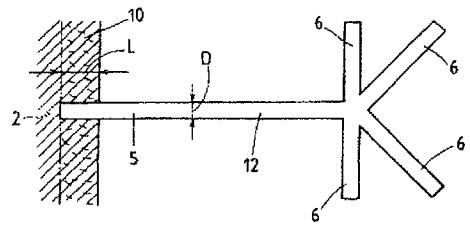
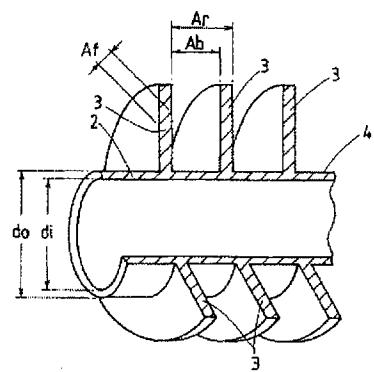


【図4】

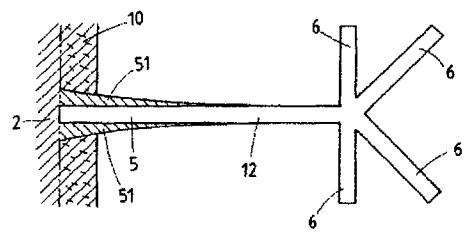
【図5】



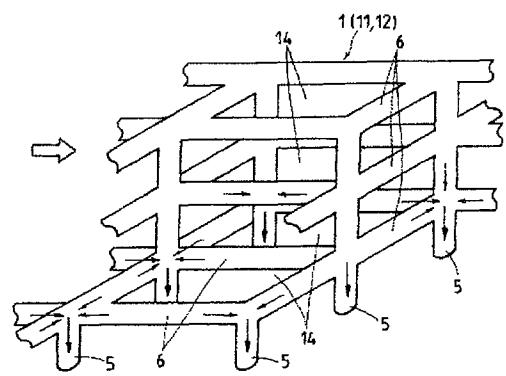
【図6】



【図 7】



【図 8】



-----  
フロントページの続き

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	F I	テーマコード (参考)
F 0 2 C 3/10	F 0 2 B 37/04	C
F 0 2 C 6/18	F 0 2 B 41/10	
F 0 2 C 7/36	F 0 2 C 3/10	
F 2 2 B 1/18	F 0 2 C 6/18	B
	F 0 2 C 7/36	
	F 2 2 B 1/18	D
	F 2 2 B 1/18	K